



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101865653 A

(43) 申请公布日 2010. 10. 20

(21) 申请号 201010136772. X

G01B 11/30(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 03. 30

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 边柯柯 李江雄 柯映林 王青  
俞慈君 曲巍崑 宋西民 孔翠萍  
任英武 樊新田

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 张法高

(51) Int. Cl.

G01B 11/00(2006. 01)

G01B 11/27(2006. 01)

G01B 11/26(2006. 01)

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方  
法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法。包括如下步骤 :1) 将飞机调平,并使得激光跟踪仪的测量坐标系与飞机总装配站位的装配坐标系统一 ;2) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线 ;3) 启动测量程序,采用手动或自动测量模式完成 1# 框上 4 个靶标点的测量 ;4) 由计算机计算 1# 框相对飞机构造水平面和飞机对称轴线的偏差。本发明的优点在于 :1) 较之传统的光学测量方法,数字化测量系统可有效提高测量精度,大幅提升测量效率 ;2) 进一步提高了飞机总装配的自动化、集成化水平。

1. 一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法,其特征在于包括如下步骤:

1) 将飞机调平,并使得激光跟踪仪的测量坐标系与飞机总装配站位的装配坐标系统一;

2) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线;

3) 启动测量程序,采用手动测量模式或自动测量模式完成 1# 框上 4 个靶标点的测量;

4) 由计算机计算 1# 框相对飞机构造水平面和飞机对称轴线的偏差。

2. 根据权利要求 1 所述的一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法,其特征在于所述的利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线步骤包括:

1) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 两个测量点  $P_{2\#}, P_{12\#}$ :  $P_{2\#} = (x_{2\#}, y_{2\#}, z_{2\#}), P_{12\#} = (x_{12\#}, y_{12\#}, z_{12\#})$ ;

2) 将  $P_{2\#}, P_{12\#}$  投影至 XOZ 平面,获得投影点  $P_{2\#}^{\perp XOZ}, P_{12\#}^{\perp XOZ}$ :

$$P_{2\#}^{\perp XOZ} = (x_{2\#}, 0, z_{2\#}), P_{12\#}^{\perp XOZ} = (x_{12\#}, 0, z_{12\#});$$

3) 则  $P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}$  即确定飞机对称轴线 L:

$$L(t) = P_{12\#}^{\perp XOZ} + t \cdot d$$

其中,  $d = \frac{P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}}{\|P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}\|}$ , 表征飞机对称轴线 L 的方向。

3. 根据权利要求 1 所述的一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法,其特征在于所述的计算 1# 框相对飞机构造水平面和飞机对称轴线的偏差步骤包括:

1) 利用激光跟踪仪测量 4 个靶标点  $P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4}$ :

$$P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2}),$$

$$P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3}), P_{M4} = (x_{M4}, y_{M4}, z_{M4});$$

2) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2})$ , 将其向 YOZ 平面投影,可检查 1# 框安装的平面度  $\theta_{\text{planar}}$ :

$$\theta_{\text{planar}} = \arctan \frac{y_{M2} - y_{M1}}{z_{M1} - z_{M2}}, \theta_{\text{planar}} \in [0, \frac{\pi}{2}];$$

3) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3})$ , 将其向 XOY 平面投影,可检查 1# 框安装的垂直度  $\theta_{\text{vertical}}$ :

$$\theta_{\text{vertical}} = \arctan \frac{x_{M1} - x_{M3}}{y_{M1} - y_{M3}}, \theta_{\text{vertical}} \in [0, \frac{\pi}{2}]。$$

## 一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及测量方法,尤其涉及一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法。

### 背景技术

[0002] 作为雷达的安装基准和承力部件,飞机 1# 框安装面的位置精度直接影响着雷达系统的安装质量和工作性能。多年来我国的飞机 1# 框精度测量方法依然沿袭着传统的光学测量手段,自动化程度低,测量数据的可信度差,严重抑制了测量精度的提高和测量效率的提升。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是针对传统光学测量技术的不足和提升飞机总装配自动化、集成化水平的迫切需求,提供一种应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法。

[0004] 应用于飞机总装配的 1# 框精度测量方法包括如下步骤:

[0005] 1) 将飞机调平,并使得激光跟踪仪的测量坐标系与飞机总装配站位的装配坐标系统一;

[0006] 2) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线;

[0007] 3) 启动测量程序,采用手动测量模式或自动测量模式完成 1# 框上 4 个靶标点的测量;

[0008] 4) 由计算机计算 1# 框相对飞机构造水平面和飞机对称轴线的偏差。

[0009] 所述的利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线步骤包括:

[0010] 1) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 两个测量点  $P_{2\#}$ ,  $P_{12\#}$  :

[0011]  $P_{2\#} = (x_{2\#}, y_{2\#}, z_{2\#})$ ,  $P_{12\#} = (x_{12\#}, y_{12\#}, z_{12\#})$  ;

[0012] 2) 将  $P_{2\#}$ ,  $P_{12\#}$  投影至 XOZ 平面,获得投影点  $P_{2\#}^{\perp XOZ}$ ,  $P_{12\#}^{\perp XOZ}$  :

[0013]  $P_{2\#}^{\perp XOZ} = (x_{2\#}, 0, z_{2\#})$ ,  $P_{12\#}^{\perp XOZ} = (x_{12\#}, 0, z_{12\#})$  ;

[0014] 3) 则  $P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}$  即确定飞机对称轴线 L :

[0015]  $L(t) = P_{12\#}^{\perp XOZ} + t \cdot d$

[0016] 其中,  $d = \frac{P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}}{\|P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}\|}$ , 表征飞机对称轴线 L 的方向。

[0017] 所述的计算 1# 框相对飞机构造水平面和对称轴线的偏差步骤包括:

[0018] 1) 利用激光跟踪仪测量 4 个靶标点  $P_{M1}$ ,  $P_{M2}$ ,  $P_{M3}$ ,  $P_{M4}$  :

[0019]  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1})$ ,  $P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2})$ ,

[0020]  $P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3})$ ,  $P_{M4} = (x_{M4}, y_{M4}, z_{M4})$  ;

[0021] 2) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1})$ ,  $P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2})$ , 将其向 YOZ 平面投影,可检查 1# 框安装的平面度  $\theta_{planar}$  :

$$[0022] \quad \theta_{\text{planar}} = \arctan \frac{y_{M2} - y_{M1}}{z_{M1} - z_{M2}}, \theta_{\text{planar}} \in [0, \frac{\pi}{2}];$$

[0023] 3) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1})$ ,  $P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3})$ , 将其向 XOY 平面投影, 可检查 1# 框安装的垂直度  $\theta_{\text{vertical}}$  :

$$[0024] \quad \theta_{\text{vertical}} = \arctan \frac{x_{M1} - x_{M3}}{y_{M1} - y_{M3}}, \theta_{\text{vertical}} \in [0, \frac{\pi}{2}]。$$

[0025] 本发明的优点在于 :1) 较之现有的传统光学测量方法, 数字化测量系统可有效提高测量精度, 大幅提升测量效率 ;2) 进一步提高了飞机总装的自动化、集成化水平。

### 附图说明

[0026] 图 1(a) 为依据本发明实施方式的 1# 框精度测量布局侧视图 ;

[0027] 图 1(b) 为依据本发明实施方式的 1# 框精度测量布局正视图 ;

[0028] 图 2 为依据本发明实施方式的 1# 框精度测量计算示意图 ;

[0029] 图 3 为依据本发明实施方式的 1# 框精度测量系统流程图 ;

[0030] 图中 :某型飞机 1、飞机 1# 框 (装有靶标) 2、激光跟踪仪 3、确定飞机对称轴线的 2# 和 12# 测量点 4、机身支撑 5、机翼支撑 6。

### 具体实施方式

[0031] 本发明结合了先进的激光跟踪仪测量技术和辅助测量装置, 利用数字化测量手段实现某型飞机 1# 框精度测量的工艺过程。其实现过程主要包含两个步骤 :首先, 合理选择反映 1# 框位姿的测量点, 以高精度的激光跟踪测量技术获取其实际安装位姿 ;继而, 计算实际安装位姿相对理论目标位姿的偏差, 同时将偏差结果在计算机上予以直观显示。本发明有机融合了机械设计、激光测量、数据处理、网络通信等诸多技术, 较之现有的传统光学测量方法, 数字化测量系统可有效提高测量精度, 大幅提升测量效率。

[0032] 以下从 1# 框精度测量方法, 测量精度分析, 偏差计算方法和软件模块的设计四个方面对 1# 框数字化测量系统予以介绍。

[0033] 某型飞机 1# 框精度测量的技术要求是 :对 1# 框安装面 (平面度和垂直度) 进行精度检查, 其误差应不大于  $\pm 6'$  (最大值)。

[0034] 1. 测量布局与测量实施方法

[0035] 测量布局 :

[0036] 1# 框测量布局如图 1 所示。激光跟踪仪 2 放置于某型飞机 1 侧前方, 通过测量 2#、12# 测量点 4 和布置在 1# 框上的 4 个靶标点 2, 实现对 1# 框相对飞机构造水平面和飞机对称轴线的测量。1# 框上的测量靶标及其靶座直接放置在雷达的 4 个安装孔内。某型飞机 1 通过机身支撑 5 和机翼支撑 6 支撑。

[0037] 测量实施方法 :

[0038] 1) 将飞机调平, 即调整飞机的横向方向和纵向方向水平, 做法是 :在飞机的左右机翼对称布置两个测量点, 两点的高度差在 0.5mm 内即达到横向调平, 沿飞机机身方向布置两个测量点, 两点的高度差在 0.5mm 内即达到纵向调平, 其次, 使得激光跟踪仪的测量坐标系与飞机总装配站位的装配坐标系统一, 这里, 激光跟踪仪的测量坐标系指激光跟踪仪

开启后,自动默认建立的空间坐标系,而飞机总装配站位的装配坐标系指根据现场飞机总装配的布局由设计人员所定义的空间坐标系,统一两者的方法是:通过测量布置在地面上的若干个公共观测点,获得这些公共观测点的实测值,即上述点在激光跟踪仪测量坐标系下的空间坐标值,继而,读取上述公共观测点在飞机总装配站位的装配坐标系下的名义值,对上述两类数值应用经典的点匹配算法,即可实现两个坐标系的统一;

[0039] 2) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 测量点,由计算机自动构建飞机对称轴线;

[0040] 3) 启动测量程序,采用手动测量模式或自动测量模式完成 1# 框上 4 个靶标点的测量;

[0041] 4) 由计算机计算 1# 框相对飞机构造水平面 and 对称轴线的偏差。

[0042] 2. 1# 框精度测量精度分析

[0043] Leica AT901-LR 型激光跟踪仪的精度指标:在全量程(水平方向  $360^\circ$ ,垂直方向  $\pm 45^\circ$ ,可达到测头的最大测量范围 80m)范围内,对单点测量的不确定度为: $U_{xyz} = \pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m}/\text{m}$ ,其中,“ $U_{xyz}$ ”定义为被测点的实测三维坐标值和名义三维坐标值之间的偏差。

[0044] 测量靶标点时,激光跟踪测量系统的误差主要来源于四个方面:1、激光跟踪仪的测量误差 a,2、靶标安装座的定位误差 b,3、激光跟踪仪转站误差 c,4、地基震动误差 d。结合相关的误差分析计算,可得  $a \leq \pm 15 \mu\text{m} + 120 \mu\text{m}$ ,  $b = \pm 0.0127\text{mm}$ ,  $c = 0.05\text{mm}$ ,  $d = 0.006\text{mm}$ 。

[0045] 综合以上四方面的误差,在测量靶标点的过程中,激光跟踪测量系统的总的不确定度为:

$$[0046] \quad \varepsilon \leq \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} = 0.145 \text{ mm}$$

[0047] 根据 1# 框上靶标点的间距 L,可计算出平面度和垂直度测量误差,分别如下:

[0048]

$$\theta_{\varepsilon\_平面度} = \arctan \frac{\varepsilon}{L_{1,2}} = \arctan \frac{0.145}{300} = 0.028^\circ < 0.1^\circ$$

[0049]

$$\theta_{\varepsilon\_垂直度} = \arctan \frac{\varepsilon}{L_{1,3}} = \arctan \frac{0.145}{280} = 0.030^\circ < 0.1^\circ$$

[0050] 因 1# 框水平精度和垂直精度的要求值均为  $\pm 6'$  (即  $\pm 0.1^\circ$ ),测量精度为要求值的 1/3 以下,故可满足精度要求。

[0051] 3. 偏差计算方法

[0052] 图 2 是 1# 框精度测量计算示意图,其基本计算过程如下:

[0053] 1) 利用激光跟踪仪测量 2#、12# 两个测量点  $P_{2\#}$ ,  $P_{12\#}$ :

$$[0054] \quad P_{2\#} = (x_{2\#}, y_{2\#}, z_{2\#}), P_{12\#} = (x_{12\#}, y_{12\#}, z_{12\#});$$

[0055] 将  $P_{2\#}$ ,  $P_{12\#}$  投影至 XOZ 平面,获得投影点  $P_{2\#}^{\perp XOZ}$ ,  $P_{12\#}^{\perp XOZ}$ :

$$[0056] \quad P_{2\#}^{\perp XOZ} = (x_{2\#}, 0, z_{2\#}), P_{12\#}^{\perp XOZ} = (x_{12\#}, 0, z_{12\#})$$

[0057] 则  $P_{12\#}^{\perp XOZ} P_{2\#}^{\perp XOZ}$  即确定飞机对称轴线 L:

$$[0058] \quad L(t) = P_{12\#}^{\perp XOZ} + t \cdot d$$

[0059] 其中,  $d = \frac{\mathbf{P}_{12\#}^{\perp XOZ} \mathbf{P}_{2\#}^{\perp XOZ}}{\|\mathbf{P}_{12\#}^{\perp XOZ} \mathbf{P}_{2\#}^{\perp XOZ}\|}$ , 表征飞机对称轴线 L 的方向。

[0060] 2) 利用激光跟踪仪测量 4 个靶标点  $P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4}$  :

[0061]  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2}),$

[0062]  $P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3}), P_{M4} = (x_{M4}, y_{M4}, z_{M4}) ;$

[0063] 3) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M2} = (x_{M2}, y_{M2}, z_{M2})$ , 将其向 YOZ 平面投影, 可检查 1# 框安装的平面度  $\theta_{\text{planar}}$  (注: 误差不大于  $\pm 6'$ ) :

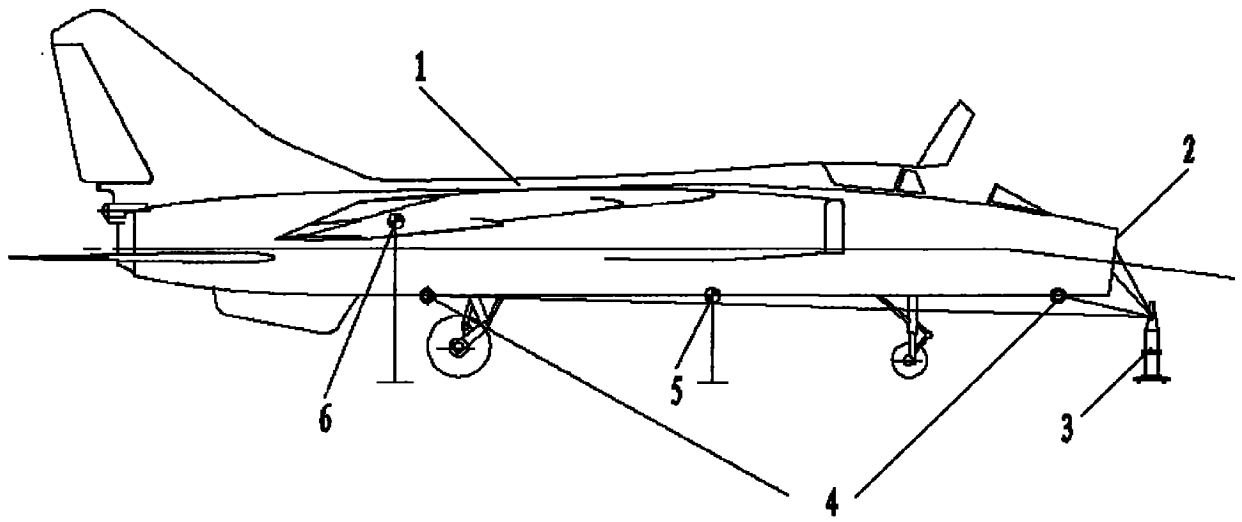
[0064]  $\theta_{\text{planar}} = \arctan \frac{y_{M2} - y_{M1}}{z_{M1} - z_{M2}}, \theta_{\text{planar}} \in [0, \frac{\pi}{2}] ;$

[0065] 4) 根据  $P_{M1} = (x_{M1}, y_{M1}, z_{M1}), P_{M3} = (x_{M3}, y_{M3}, z_{M3})$ , 将其向 XOY 平面投影, 可检查 1# 框安装的垂直度  $\theta_{\text{vertical}}$  (注: 误差不大于  $\pm 6'$ ) :

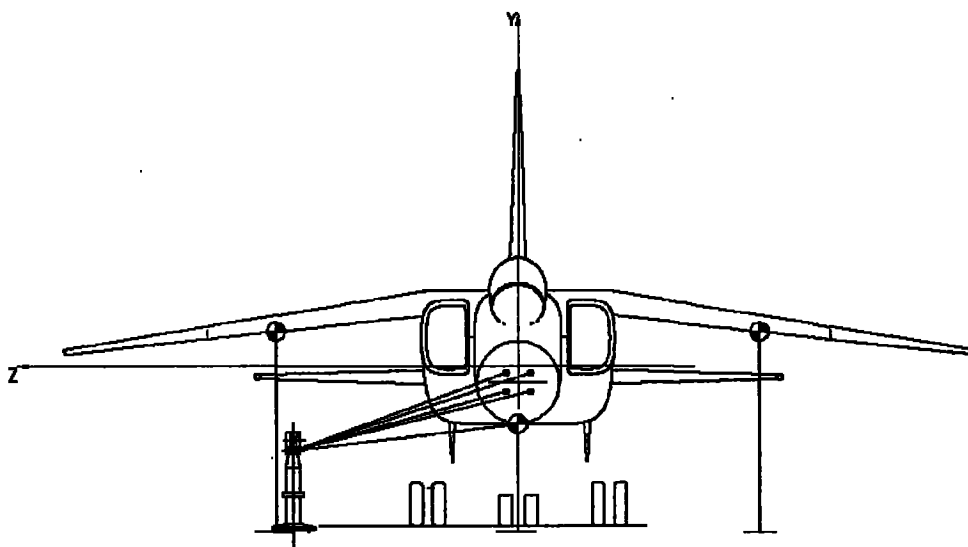
[0066]  $\theta_{\text{vertical}} = \arctan \frac{x_{M1} - x_{M3}}{y_{M1} - y_{M3}}, \theta_{\text{vertical}} \in [0, \frac{\pi}{2}] .$

[0067] 4. 软件模块设计

[0068] 根据 1# 框精度测量工艺步骤和特点, 提供图示化向导式操作界面, 使得操作人员可以根据图示化的操作向导, 按照指定的步骤高效完成 1# 框精度测量任务; 依次实现飞机对称轴线数据的读取、靶标点自动或手动测量、1# 框的精度检查 (平面度和垂直度) 等功能。其基本流程如图 3 所示。



(a)



(b)

图 1

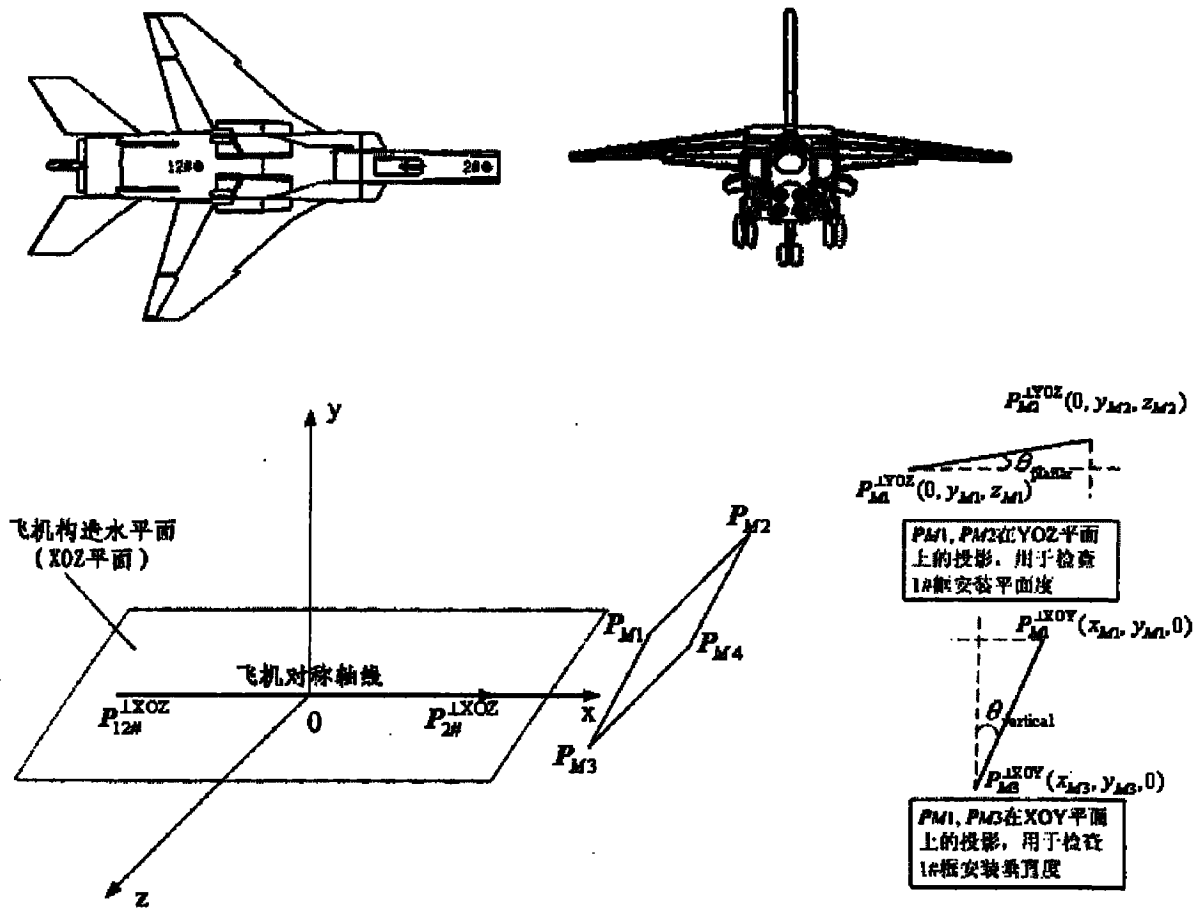


图 2



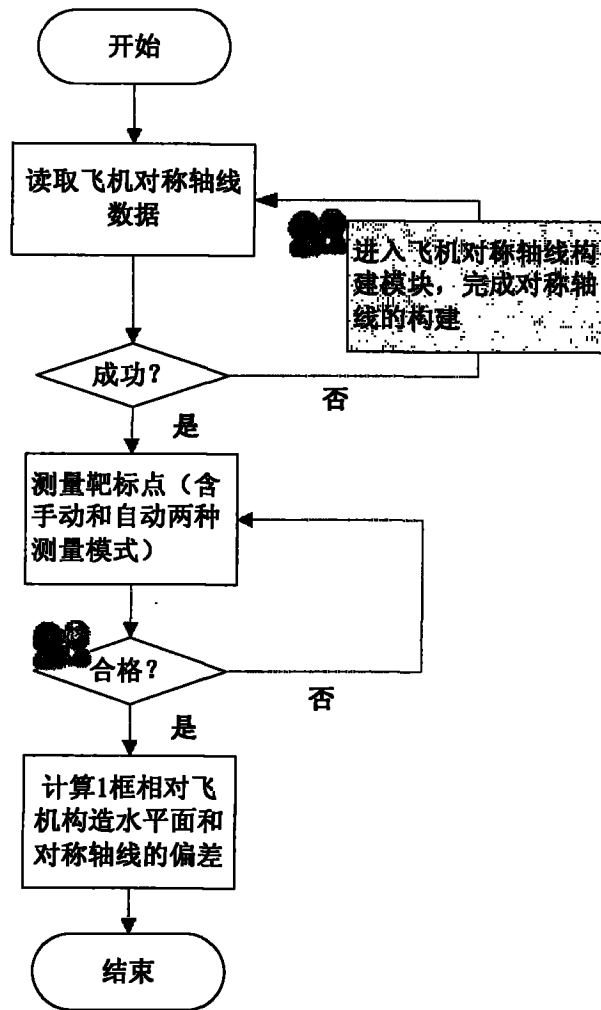


图 3